

**10/552693**

**JC05 Rec'd PCT/PTO 11 OCT 2005**

5015.1017

**UNITED STATES PATENT & TRADEMARK OFFICE**

Re: Application of: **Gerold BECKER et al.**

Serial No.: To Be Assigned

Filed: Herewith as national phase of International  
Application No. PCT/EP2004/003642, filed 6 April 2004

For: **ROTOR, ROTORCRAFT COMPRISING A ROTOR  
OF THIS TYPE AND METHOD FOR ADJUSTING  
THE BLADE ANGLE OF A ROTOR**

**LETTER RE: PRIORITY**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

October 6, 2005

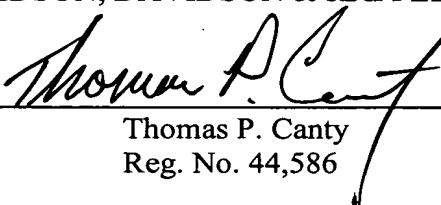
Sir:

Applicant hereby claims priority of German Application Serial No. 103 16 093.0, filed 8 April 2003, through International Application No. PCT/EP2004/003642, filed 6 April 2004.

Respectfully submitted,

DAVIDSON, DAVIDSON & KAPPEL, LLC

By

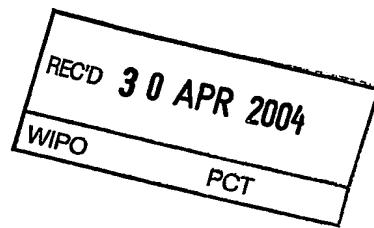


Thomas P. Canty  
Reg. No. 44,586

Davidson, Davidson & Kappel, LLC  
485 Seventh Avenue, 14<sup>th</sup> Floor  
New York, New York 10018  
(212) 736-1940

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

<b>Aktenzeichen:</b>	103 16 093.0
<b>Anmeldetag:</b>	08. April 2003
<b>Anmelder/Inhaber:</b>	EUROCOPTER DEUTSCHLAND GmbH, 86609 Donauwörth/DE
<b>Bezeichnung:</b>	Rotor, Drehflügelflugzeug mit einem solchen Rotor, und Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotors
<b>IPC:</b>	B 64 C 27/32

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 11. März 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
 Im Auftrag

Rotor,

5

**Drehflügelflugzeug mit einem solchen Rotor, und  
Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotors**

**TECHNISCHES GEBIET**

10

Die Erfindung betrifft einen Rotor sowie ein Drehflügelflugzeug mit einem solchen Rotor. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotorblattes eines derartigen Rotors.

**15 STAND DER TECHNIK**

Bei vorbekannten Rotoren, die einen Rotorkopf, mindestens ein Rotorblatt und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss aufweisen, erfolgt die Verstellung des Blattwinkels des Rotorblattes über ein diskretes Lager oder über ein torsionsweiches Element mit Hilfe eines recht aufwendigen, schweren Verstellmechanismus, der i.d.R. mindestens einen Blattverstellhebel, Gestänge, eine Taumelscheibe und mindestens einen Aktuator zur Betätigung des Mechanismus besitzt. Das genannte torsionsweiche Element wird üblicherweise bei sog. lagerlosen Rotor in Verbindung mit einer sog. Steuertüte verwendet. Das torsionsweiche Element erstreckt sich innerhalb der Steuertüte, die zur Einleitung eines für die Blattwinkelverstellung erforderlichen Drehmomentes an einem distalen, d.h. zu einer Rotorblattspitze weisenden Endbereich des torsionsweichen Elements drehfest mit diesem verbunden ist. Für eine ausreichende Torsionsweichheit und zur Erreichung eines genügend großen Blattverstellwinkels müssen das torsionsweiche Element und die Steuertüte relativ lang ausgebildet sein. Diese Bauteile nehmen daher einen recht hohen prozentualen Anteil der Rotorblattlänge ein, die dann nicht mehr für ein aerodynamisch wirksames Profil des Rotorblattes zur Verfügung steht. Konventionelle lagerlose Rotoren sind zudem schwenkweich

ausgebildet, was für bestimmte Rotortypen, wie z.B. Kipprotoren (Tiltrotoren), die in Kipprotorhubschraubern oder Kipprotorflugzeugen Anwendung finden, von Nachteil ist.

5    Während bei konventionellen Hubschraubern im Betrieb die Drehzahl relativ konstant gehalten und der Blattwinkel kollektiv oder zyklisch verstellt wird, kann es in bestimmten Anwendungsfällen, wie z.B. bei Kipprotorhubschraubern oder Kipprotorflugzeugen, erforderlich sein, den Blattwinkel bei Rotorblättern oder Propellern abhängig von der Drehzahl zu verstellen. Bei einem Kipprotor zum Beispiel wird die Drehzahl im sog. Flugzeugmodus abgesenkt und gleichzeitig der Blattwinkel steiler eingestellt, während im sog. Hubschraubermodus die Drehzahl erhöht und der Blattwinkel flacher eingestellt wird. Die hierfür erforderlichen Verstellmechanismen sowie Steuer- und/oder Regeleinrichtungen sind jedoch sehr aufwendig und gewichtsintensiv und müssen aufgrund der erforderlichen Kopplung zwischen einem rotierenden und einem feststehenden Teil des Verstellmechanismus zudem über die Schnittstelle einer Taumelscheibe erfolgen, was konstruktiv und steuerungstechnisch sehr komplex ist.

### DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

20    Der Erfindung liegt die Aufgabe beziehungsweise das technische Problem zugrunde, einen Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, zu schaffen, der über verbesserte aerodynamische Eigenschaften bei einem möglichst geringen Rotorgewicht verfügt und der es auf einfache und effektive Art und Weise gestattet, eine Verstellung eines Rotorblattwinkels auch abhängig von der Drehzahl vorzunehmen. Ferner soll ein geeignetes Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotorblattes bereit gestellt werden.

30    Diese Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt gelöst durch einen erfindungsgemäßen Rotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Dieser Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfasst einen Rotorkopf, mindestens ein Rotorblatt und einen rotorkopf- bzw. rotormastseitigen

Rotorblattanschluss mit einer integralen, lagerlosen, fliehkraftgesteuerten Blattwinkelverstelleinrichtung. Der Rotorblattanschluss kann hierbei integraler Bestandteil des Rotorblattes oder aber ein davon separates Teil sein, welches mit dem Rotorblatt beispielsweise über eine geeignete Trennstelle verbindbar ist. Der 5 Rotorblattanschluss kann darüber hinaus auch Teil eines Rotorkopfelements, z.B. eines Rotorsterns oder einer Rotorkopfplatte, oder eines anderen, dem Rotorblatt und dem Rotorkopf bzw. einem Rotormast zwischengeschalteten Elements sein.

Aufgrund der integralen Bauweise der lagerlosen, fliehkraftgesteuerten 10 Blattwinkelverstelleinrichtung kann diese als direkter Bestandteil des Rotorblattes bzw. dessen Struktur- oder Befestigungselemente oder eines Rotorkopfelements ausgebildet werden. Mit anderen Worten, die Blattwinkelverstelleinrichtung kann direkt an oder in den rotierenden Teilen des Rotors platziert oder in diese integriert werden. Deshalb ist bei der erfindungsgemäßen Lösung anders als beim Stand der 15 Technik für eine fliehkraftabhängige oder drehzahlbedingte Verstellung des Blattwinkels auch keine Kopplung zwischen einem rotierenden und einem feststehenden Teil des Verstellmechanismus über eine Taumelscheibe hinweg notwendig. Dies vereinfacht die Konstruktion erheblich und führt überdies zu einer günstigen Gewichtsreduzierung.

20 Für die fliehkraftgesteuerte, drehzahlabhängige Blattwinkelverstellung kann somit auf Verstellmechanismen, wie Sie beim Stand der Technik erforderlich sind, gänzlich verzichtet werden. Wie aus den nachfolgenden Erläuterungen noch deutlicher werden wird, sind zudem aufwendige Steuer- und/oder 25 Regeleinrichtungen für eine drehzahlbedingte Blattwinkelverstellung nicht notwendig. Sofern bei dem erfindungsgemäßen Rotor pro Rotorblatt ein oder mehrere torsionsweiche Elemente und eine Steuertüte verwendet werden, so ist es möglich, diese Bauteile erheblich zu verkürzen, woraus wiederum Vorteile für die Aerodynamik resultieren, da der ungestörte, aerodynamisch aktive Profilbereich des 30 Rotorblattes weiter nach innen, d.h. zur Rotorachse hin geführt werden kann. Auch der Schlag- und/oder Schwenkgelenksabstand lässt sich durch diese Maßnahmen verringern, was für bestimmte Anwendungszwecke ebenfalls vorteilhaft ist. Wird der Schlag- und/oder Schwenkgelenkbereich und der torsionsweiche Bereich des

Blattanschlusses bzw. des Rotorblattes vom sog. homogenen Rotorblatt durch eine Trennstelle (z.B. ein Bolzenanschluss) lösbar ausgestaltet, so wandert diese Trennstelle ebenfalls nach innen, zur Rotorachse hin in einen Bereich kleiner Anströmgeschwindigkeiten. Auch dies ist aerodynamisch von Vorteil und gestattet

5 eine leichtere Bauweise.

Weitere bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungsmerkmale des erfindungsgemäßen Rotors sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 12.

10 Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird gemäß einem zweiten Aspekt gelöst durch ein erfindungsgemäßes Drehflügelflugzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 13. Das erfindungsgemäße Drehflügelflugzeug bietet im Wesentlichen die gleichen Vorteile, wie sie bereits weiter oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Rotor erläutert wurden.

15 Darüber hinaus wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gemäß einem dritten Aspekt gelöst durch ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Blattwinkelverstellung mit den Merkmalen des Anspruchs 14.

20 Dieses Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotorblattes eines Rotors, insbesondere eines lagerlosen Rotors, der einen Rotorkopf und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss besitzt, umfasst folgende Schritte: Rotieren des Rotorblattes; und automatisches Verstellen des Blattwinkels durch Verdrehen des rotorkopfseitigen Rotorblattanschlusses und damit des Rotorblattes um seine

25 Längsachse mittels auf das Rotorblatt wirkender Fliehkräfte. Somit kann die Größe des Blattwinkels in Abhängigkeit der Größe der Fliehkraft verändert werden. Das erfindungsgemäße Verfahren offeriert im Wesentlichen die gleichen Vorteile, wie sie bereits weiter oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Rotor dargelegt wurden.

30 Weitere bevorzugte Ausführungsmerkmale des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche 15 bis 18.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung mit zusätzlichen Ausgestaltungsdetails und weiteren Vorteilen sind nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben und erläutert.

## 5 KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Es zeigt:

10 Fig. 1 eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer ersten Ausführungsform;

15 Fig. 2 eine schematische, stark vereinfachte Seitenansicht des Rotors von Fig. 1;

20 Fig. 3 eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in einem ersten Betriebszustand, zu Erläuterung des erfindungsgemäßen Funktionsprinzips;

25 Fig. 4 eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in einem zweiten Betriebszustand, zu Erläuterung des erfindungsgemäßen Funktionsprinzips;

30 Fig. 5 eine schematische, stark vereinfachte Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer zweiten Ausführungsform;

Fig. 6 eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer dritten Ausführungsform; und

Fig. 7 eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer vierten Ausführungsform.

### DARSTELLUNG VON BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

In der nachfolgenden Beschreibung und in den Figuren werden zur Vermeidung von  
5 Wiederholungen gleiche Bauteile und Komponenten auch mit gleichen  
Bezugszeichen gekennzeichnet, sofern keine weitere Differenzierung erforderlich  
ist.

Fig. 1 zeigt eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines  
10 wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen lagerlosen Rotors gemäß einer  
ersten Ausführungsform. Der Rotor umfasst einen Rotormast (nicht gezeigt), einen  
Rotorkopf (nicht gezeigt), mehrere gleichartig ausgestaltete Rotorblätter 2 und pro  
Rotorblatt 2 jeweils einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss 4 mit einer  
integralen, lagerlosen, fliehkraftgesteuerten Blattwinkelverstelleinrichtung.  
15 Zum mindest der Rotorblattanschluss 4 ist weitgehendst aus Faserverbundwerkstoff  
hergestellt. Der Rotorblattanschluss 4 ist in dieser Ausführungsform Bestandteil des  
Rotorblattes 2 selbst. Die integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte  
Blattwinkelverstelleinrichtung besitzt zwei (oder auch mehrere) Rotorblatt-  
Anschlussarme 6, 8, die im Rotorbetrieb fliehkraftbeaufschlagt sind und die auf das  
20 drehende Rotorblatt 2 wirkenden Fliehkräfte  $F_c$  abtragen.

Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 sind als integraler Bestandteil des Rotorblattes 2  
ausgestaltet. Ein jeweiliger Rotorblatt-Anschlussarm 6, 8 kann grundsätzlich einen  
oder mehrere Armstränge aufweisen, die nebeneinander und/oder übereinander  
25 angeordnet sind und sich auch gabeln können. Im vorliegenden Fall sind die  
Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 als platten- oder streifenförmige, biege- und  
torsionsweiche Strukturelemente mit einer flachen, rechteckigen Querschnittsform  
ausgebildet. Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 bzw. ihre Armstränge können  
grundsätzlich jedoch auch andere geeignete Formen bzw. Querschnittsformen  
30 annehmen, so z.B. eine quadratische oder runde Querschnittsform.

Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 verlaufen ausgehend von einem gemeinsamen  
Fußbereich 10, der in einen Rotorblatthals 12 mündet, seitlich voneinander

beabstandet (d.h. bezogen auf den Rotorkreis in tangentialer Richtung voneinander beabstandet) nebeneinander her. Sie besitzen jeweils mindestens einen gegenüber dem jeweils anderen Rotorblatt-Anschlussarm gegensinnig abgestuften oder abgewinkelten Armabschnitt 6a, 8a. Beide Armabschnitte 6a, 8a sind bezogen auf  
5 die Rotorachse A in axialer Richtung gegeneinander versetzt, d.h. hier, sie sind gegensinnig nach unten und oben abgestuft oder abgewinkelt. Der plattenförmige, breite Fußbereich 10 ist ebenfalls biege- und torsionsweich ausgestaltet und besitzt bei Betrachtung in einer Draufsicht eine trapezartige, sich zum Rotorblathals 12 hin verjüngende Gestalt. Der Fußbereich 10 ist schwenksteif und schlagweich  
10 ausgebildet. In Zusammenwirkung mit den Rotorblatt-Anschlussarmen 6, 8 bildet der Fußbereich 10 somit eine schlagweiche, aber schwenksteife Rotorblattanbindung, was besonders für Kipprotoren von Vorteil ist.

Wie in der Fig. 1 durch das Bezugszeichen T angedeutet, können die das Schlag-  
15 und/oder Schwenkgelenk bildenden Bereiche bzw. die torsionsweiche Bereiche des Rotorblattanschlusses 4 bei Bedarf auch vom sog. homogenen Rotorblatt durch eine Trennstelle (z.B. ein Bolzenanschluss) trennbar ausgestaltet werden.

Aus der Fig. 1 ist ferner ersichtlich, dass die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8  
20 zusammen eine Art Blattanschlussgabel bilden, wobei sich die Arme 6, 8 vorzugsweise links und recht neben der Rotorachse A oder einem Rotormast her erstrecken. Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 sind rotorkopfseitig drehfest (und ggf., aber nicht zwingender Weise gelenkig) mit einem Drehmomentenübertragungselement (z.B. einem Rotorstern oder einer  
25 Rotorkopfplatte oder dergleichen) verbunden, welches wiederum drehfest am Rotormast (nicht gezeigt) fixiert ist. In der Fig. 1 sind die rotorkopfseitigen Anschlusspunkte PH6, PH8 der Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 der Einfachheit halber nur schematisch an einem schraffierten Bereich angezeichnet. Wie aus der Zeichnung erkennbar, sind die rotorkopfseitigen Anschlusspunkte PH6, PH8 in  
30 Axialrichtung A des Rotors voneinander beabstandet. Die rotorblattseitigen, in den Fußbereich 10 mündenden Anschlusspunkte PB6, PB8 hingegen liegen in diesem Beispiel einer gemeinsamen Ebene.

Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 mehrerer Rotorblätter 2 können auch untereinander an einer oder mehreren Stellen verbunden sein (integral oder durch separate Verbindungselemente) und sich hierbei überkreuzen bzw. überlappen.

5 Mehrere solcher in Längsrichtung des Rotorblattes 2 voneinander beabstandete Verbindungsstellen können ein virtuelles Schlag-Hilfsgelenk bilden. Auf diese Weise ist es möglich, dass die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 eines Rotorblattes 2 die Fliehkräfte  $F_c$  oder Fliehkraftanteile eines gegenüberliegenden Rotorblattes 2 aufnehmen. Die Rotorkopfanbindung der Rotorblätter 2 ist damit faktisch fliehkräftefrei und überträgt lediglich Drehmomente.

10

Fig. 2 stellt eine schematische, stark vereinfachte Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 dar. In dieser Ansicht ist die Abstufung bzw. Abwinkelung der Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 besonders deutlich erkennbar. Die Abstufung bzw. Abwinkelung an den Armabschnitten 6a, 8a erfolgt über einen schräg verlaufenden Anschlussarmbereich, der hier einen relativ flachen, spitzen Winkel gegenüber dem Vektor der Fliehkraft  $F_c$  und damit der Fliehkraftrichtung einnimmt. Vom Prinzip her kann der Winkel jedoch auch größer sein und sogar Werte von  $90^\circ$  oder mehr annehmen. In der Praxis sind indes die genannten flachen Winkel zu bevorzugen. Es ist in der Zeichnung zu sehen, dass bei den gezeigten Rotorblatt-Anschlussarmen 6, 8 der jeweilige Flächenschwerpunkt bzw. die neutrale Faser eines rotorkopfseitigen Anschlussarmquerschnitts gegenüber dem jeweiligen Flächenschwerpunkt bzw. der neutralen Faser eines rotorblattseitigen Anschlussarmquerschnitts und einer im Betrieb des Rotors durch diesen rotorblattseitigen Flächenschwerpunkt verlaufenden Vektor der Fliehkräfte  $F_c$  bzw. 20 der Fliehkraftrichtung nach unten bzw. oben versetzt ist.

25 Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass sich ein gegenseitiger Versatz der neutralen Fasern selbst bei geradlinigen und sogar in einer gemeinsamen Ebene verlaufenden Anschlussarmen (oder bei einem nur einen einzigen Strang aufweisenden Rotorblatt-Anschlussarm; vgl. Fig. 7) zum Beispiel dadurch erzielen lässt, dass der jeweilige Anschlussarm beispielsweise einen inhomogenen Verstärkungsfaserlagenaufbau und/oder Bereiche mit unterschiedlichen Steifigkeiten besitzt.

Bei dem erfindungsgemäßen Rotor kann jedes Rotorblatt 2 für die zyklische und kollektive Blattverstellung z.B. eine Steuertüte (nicht gezeigt) besitzen, die beispielsweise im Bereich der integralen, lagerlosen, fliehkraftgesteuerten  
5 Blattwinkelverstelleinrichtung am Rotorblatthals 12 angreift. Andere für diesen Zweck geeignete Steuerelemente sind ebenfalls möglich.

Es wird nun die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Rotors und das  
erfindungsgemäße Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines jeweiligen  
10 Rotorblattes 2 beschrieben werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Blattwinkelverstellung des Rotorblattes 2 beruht nun darauf, dass das Rotorblatt 2 lagerlos in Drehung versetzt wird und sich der Blattwinkel W durch Verdrehen des rotorkopfseitigen Rotorblattanschlusses 4;  
15 6, 8 und damit des Rotorblattes 2 um seine Längsachse mittels der auf das Rotorblatt 2 wirkenden Fliehkräfte Fc automatisch verstellt. Hierbei wird die Größe des Blattwinkels W in Abhängigkeit der Größe der Fliehkräfte Fc verändert. Das Verdrehen erfolgt durch gegensinniges, reversibles elastisches Verformen der zwei gegensinnig abgestuften oder abgewinkelten Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 mittels  
20 der auf das Rotorblatt 2 wirkenden Fliehkräfte Fc. Dieses Verformen wird dadurch erreicht, dass mittels der auf das Rotorblatt 2 wirkenden Fliehkräfte Fc zwei gegensinnige Biegemomente M1, M2 (siehe unten sowie Fig. 4) in den beiden Rotorblatt-Anschlussarmen 6, 8 erzeugt werden. Diese zwei gegensinnigen Biegemomente M1, M2 wiederum induzieren ein Drehmoment um die  
25 Rotorblattlängsachse, so dass eine Blattwinkelverstellung erfolgt.

Betrachtet man Fig. 1 bis 4, so wird das zuvor erwähnte Prinzip noch deutlicher werden. Fig. 3 zeigt eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in einem ersten Betriebszustand, in dem der Rotor stillsteht, und Fig. 4 einen zweiten  
30 Betriebszustand, in dem sich der Rotor dreht. In den Fig. 3 und 4 ist mit einer durchgehenden Linie der Anschlussarm 6 gezeigt und mit einer gestrichelten Linie der andere Anschlussarm 8 angedeutet. Die in den Fig. 3 und 4 skizzierten Lagerstellen L1, L2 können in der Praxis beispielsweise durch zwei oder mehrere in

Längsrichtung des Rotorblattes 2 voneinander beabstandeten Befestigungsstellen des jeweiligen Anschlussarms 6, 8 gebildet werden. Eine feste Einspannung der Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 ist ebenfalls realisierbar.

- 5 Bei einem Stillstand des Rotors (Fig. 3) wirken keine Fliehkräfte auf das Rotorblatt 2 und die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 ( $F_c = 0$ ). Ist der Rotor hingegen in Drehung versetzt (Fig. 4), sind das Rotorblatt 2 und die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 Fliehkräften ausgesetzt ( $F_c >> 0$ ). Die Größe der Fliehkräfte  $F_c$  ist u.a. von der Rotordrehzahl abhängig. Die Fliehkräfte  $F_c$  werden in die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 eingeleitet, wobei jeder Arm einen bestimmten Fliehkraftanteil  $F_{c1}$ ,  $F_{c2}$  aufnimmt. Der durch die Fliehkräfte bzw. Fliehkraftanteile bewirkte Kraftfluss verläuft ausgehend von einer Fliehkrafteinleitungsstelle an dem rotorblattseitigen Anschlusspunkt PB6, PB8 bis zu dem rotorkopfseitigen Anschlusspunkt PH6, PH8.
- 10
- 15 Da die in den Rotorblatt-Anschlussarmen 6, 8 auftretenden Effekte im Wesentlichen gleich sind, wird für die nachfolgenden Erläuterungen der Einfachheit halber nur auf den Rotorblatt-Anschlussarm 6 Bezug genommen, sofern keine weitere Ergänzungen erforderlich sind.
- 20 Da die Flächenschwerpunkte bzw. neutralen Fasern der jeweiligen Anschlussarmquerschnitte über die Länge des Rotorblatt-Anschlussarms 6 ausgehend von der Fliehkrafteinleitungsstelle nicht geradlinig verlaufen (siehe insb. Fig. 2), ist auch der Kraftfluss bezogen auf die Fliehkraftrichtung bzw. den Vektor des Fliehkraftanteils  $F_{c1}$  nicht geradlinig, sondern folgt dem abgewinkelten bzw. abgestuften Verlauf des Rotorblatt-Anschlussarms 6. Folglich wird an dem abgestuften bzw. abgewinkelten Zwischenabschnitt des Rotorblatt-Anschlussarms ein Biegemoment  $M_1$  erzeugt (siehe Fig. 4). Das Moment  $M_1$  hat dabei die Größe  $M_1 = F_{c1} * h_1$ , wobei  $F_{c1}$  der auf den Rotorblatt-Anschlussarm wirkende Fliehkraftanteil von  $F_c$  und  $h_1$  der senkrechte Abstand (Hebelarm) zwischen dem durch den Flächenschwerpunkt der rotorblattseitigen Fliehkrafteinleitungsstelle verlaufenden Vektor des Fliehkraftanteils  $F_{c1}$  und dem Flächenschwerpunkt des rotorkopfseitigen Endes des abgestuften bzw. abgewinkelten Anschlussarm-Zwischenbereichs (bzw. je nach Ausgestaltungsform auch dem
- 25
- 30

Flächenschwerpunkt des rotorkopfseitigen Anschlusspunkt des Rotorblatt-Anschlussarms) ist.

Durch das Moment M1 tritt eine reversible elastische Verformung, d.h. hier eine

5 Biegung des Rotorblatt-Anschlussarms 6 sowie ggf. der daran angrenzenden Strukturen auf. Im Prinzip versuchen die Fliehkräfte Fc (hier der Fliehkraftanteil Fc1) also den Rotorblattanschluss (hier: den Rotorblatt-Anschlussarm 6) so zu verformen, dass der Flächenschwerpunktsverlauf eine gerade Linie mit dem Vektor der Fliehkräfte Fc (hier: dem Fliehkraftanteil Fc1) bildet, d.h. mit dem Vektor fluchtet.

10 Ausgehend von dem in Fig. 3 gezeigten Betriebszustand erfährt der rotorblattseitige Anschlusspunkt PB6 bei Drehung des Rotors somit unter Fliehkräfteeinwirkung eine Durchsenkung dS1 (Fig. 4).

Die Wirkung an dem anderen Rotorblatt-Anschlussarm 8 sind, wie gesagt, analog,

15 wobei infolge des Fliehkraftanteils Fc2 jedoch ein gegensinniges Biegemoment M2 und anstelle der Durchsenkung dS1 eine Anhebung dS2 erfolgt (Fig. 4). Die beschriebenen Verformungen treten in diesem Ausführungsbeispiel also an beiden Rotorblatt-Anschlussarmen 6, 8 auf. Da die Verformungsrichtungen hierbei gegensinnig sind und somit ein Kräftepaar F1, F2 entsteht (vgl. Fig. 1), wird ein

20 Drehmoment um die Rotorblattlängsachse induziert, die Anschlussarme 6, 8 (sowie ggf. der Fußbereich 10 und Teile des Rotorblatthalses 12) tordieren, und das Rotorblatt 2 wird lagerlos um seine Längsachse gedreht.

Daraus resultiert folglich eine Verstellung des Blattwinkels W (vgl. Fig. 1). Es ist ersichtlich, dass bei einem gegebenen Rotorblatt 2 die auftretenden Fliehkräfte Fc, die Verformungen an dem Rotorblattanschluss 4; 6, 8 und die Durchsenkung dS1 und Anhebung dS2 direkt von der Drehzahl des Rotors abhängen und der Blattwinkel W automatisch in Abhängigkeit der Drehzahl verändert wird. Die Größe der Blattwinkeländerung bei einem gegebenen Rotordrehzahlbereich ist neben den zuvor genannten Parametern konstruktiv insbesondere durch den gegenseitigen Abstand der Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8, den Abständen bzw. Hebelarmen h1, h2 und den Biege- und Torsionseigenschaften der Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 bzw. deren Material wählbar.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich angemerkt, dass das zuvor erläuterte erfindungsgemäße Prinzip auch dann funktioniert, wenn lediglich einer der beiden Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 abgestuft oder abgewinkelt ist und der andere 5 Rotorblatt-Anschlussarm z.B. geradlinig ausgebildet ist und der Vektor des diesem geradlinigen Arm zugeordneten Fliehkraftanteils durch die Armquerschnitts-Flächenschwerpunkte verläuft.

Eine solche Konstellation ist in der Fig. 5 dargestellt, die analog zu der Zeichnung 10 nach Fig. 2 eine schematische, stark vereinfachte Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer zweiten Ausführungsform zeigt. Deutlich ist hinter dem ersten, nach unten abgewinkelten bzw. abgestuften Rotorblatt-Anschlussarm 6 der zweite, geradlinige Rotorblatt-Anschlussarm 8 erkennbar. Bei dieser Variante erfolgt eine fliehkraftbedingte Biegung und Verformung und damit 15 Durchsenkung lediglich an dem Rotorblatt-Anschlussarm 6. An dem anderen Rotorblatt-Anschlussarm 8 findet fliehkraftbedingt keine solche Biegung und Verformung statt. Infolge der Durchsenkung an dem Rotorblatt-Anschlussarm 6 (vgl. Fig. 4) tritt jedoch eine Reaktionskraft an dem anderen geradlinigen Rotorblatt-Anschlussarm 8 auf. Ähnlich wie in Fig. 1 dargestellt, resultiert daraus wieder ein 20 Kräftepaar  $F_1, F_2$ , welches den Rotorblattanschluss verdreht und die Blattwinkelverstellung bewirkt. Bei gleichen Abstand bzw. Hebelarm  $h_1$  und gleichen Abmessungen und Materialeigenschaften der Blattanschlusselemente wird bei der Ausführungsform nach Fig. 5 die Größe des verstellten Blattwinkels  $W$  kleiner als 25 bei der Ausführungsform nach den Fig. 1 und 4 sein.

Fig. 6 zeigt eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer dritten Ausführungsform. Bei dieser Variante sind die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 bezogen auf die Rotorachse A übereinander angeordnet und verlaufen in einem axialen Abstand zueinander. Die Rotorblatt-Anschlussarme 6, 8 bzw. deren 30 Armabschnitte sind im Wesentlichen in einer zur Rotorkreisebene parallelen Ebene (oder in einem vorzugsweise relativ geringen, spitzen Winkel dazu) gegensinnig nach links und rechts (hier: in tangentialer Richtung) abgestuft oder abgewinkelt.

Die Ausführungsform nach Fig. 5 ist nicht so flach gebaut wie die der Fig. 1 bis 4, jedoch kann sie schwenkweicher als diese ausgeführt werden, was für bestimmte Einsatzzwecke ebenfalls vorteilhaft ist.

5 Fig. 7 stellt eine schematische, stark vereinfachte Perspektivansicht eines wesentlichen Teilbereichs eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer vierten Ausführungsform dar. Die Blickrichtung verläuft ausgehend vom Rotorkopf (nicht gezeigt) zur Rotorblattspitze (nicht gezeigt) hin. Diese Variante besitzt pro Rotorblatt 2 lediglich einen einzigen Rotorblatt-Anschlussarm 14, der in diesem Fall 10 streifenförmig ausgebildet ist und einen abgestuften oder abgewinkelten Armabschnitt 14a mit zwei schräg verlaufenden Abwinkelungssachsen X1, X2 aufweist. Aufgrund dieser Abstufung bzw. Abwinkelung wird zwischen einem rotorkopfseitigen Anschlusspunkt des Rotorblatt-Anschlussarms 14 und einem Vektor einer auf das Rotorblatt 2 wirkend Fliehkrat Fc mindestens ein Hebelarm 15 gebildet, mit dem der Rotorblatt-Anschlussarm 14 unter Einwirkung der Fliehkräfte Fc verdreht und somit eine Verstellung des Blattwinkels W bewirkt wird. Genauer gesagt, sind hier zwei Hebelarme h1 und h2 vorhanden: h1 in axialer Richtung des Rotors und h2 bezogen auf den Rotorkreis in tangentialer Richtung. Bei dem Rotor nach Fig. 7 wird der Blattwinkel W bei einer Erhöhung der Drehzahl verkleinert.

20 Zwei Anschlussarme 14 können z.B. auch in einer der Fig. 1 ähnelnden Konfiguration nebeneinander und bevorzugt geringfügig in Axialrichtung des Rotors gegeneinander versetzt angeordnet werden. Im Rotorbetrieb resultieren daraus an 25 den jeweiligen abgewinkelten bzw. abgestuften Armabschnitten 14a keine gegensinnigen, sondern gleichsinnigen Biegemomente, die dennoch eine fliehkratbedingte Verdrehung des Rotorblattes um die Rotorblattlängsachse und damit eine Verstellung des Blattwinkels bewirken.

Der erfindungsgemäße Rotor wird bei einem Drehflügelflugzeug, wie zum Beispiel 30 ein Hubschrauber oder Kipprotorhubschrauber, eingesetzt.

Die Erfindung ist nicht auf die obigen Ausführungsbeispiele, die lediglich der allgemeinen Erläuterung des Kerngedankens der Erfindung dienen, beschränkt. Im

Rahmen des Schutzmfangs kann der erfindungsgemäße Rotor vielmehr auch andere als die oben konkret beschriebenen Ausgestaltungsformen annehmen. Der Rotor kann hierbei insbesondere Merkmale aufweisen, die eine Kombination aus den Merkmalen des Hauptanspruchs und allen oder nur einigen Unteransprüchen

5 darstellen. Die Rotorblatt-Anschlussarme können auch seitlich versetzt übereinander verlaufen oder sich überkreuzen, und die Abwinkelungen oder Abstufungen ihrer Armabschnitte können in anderen Richtungen als der beschriebenen axialen oder tangentialen Richtung erfolgen. Hierbei müssen die Abwinkelungen oder Abstufungen nicht nur in einer Eben verlaufen, sie sind, wie

10 z.B. in Fig. 7, auch räumlich ausführbar. Überdies können die Rotorblatt-Anschlussarme als integraler Bestandteil eines Rotorkopfelements, z.B. einer Rotorkopfplatte, ausgebildet sein, an dem ein oder mehrere Rotorblätter anschließbar sind.

15 Überdies ist es möglich, die Anschlussarme oder einen einzelnen Anschlussarm in sich verdreht oder mehrere Anschlussarme miteinander verdrillt auszubilden. Im Sinne der Erfindung können mindestens zwei Anschlussarme z.B. in Form von fliehkraftabtragenden Zugsträngen auch als integraler Bestandteil eines einzelnen Blattanschlusselementes ausgebildet sein, welches die Anschlussarme teilweise

20 oder im Wesentlichen vollständig umschließt bzw. verkleidet. Mehrere Anschlussarme sind auch mit einem sehr geringen Abstand neben- und/oder übereinander anzuordnen. Des weiteren kann ein Bereich zwischen den Anschlussarmen mit einer weichen, elastischen Zwischenfüllung, z.B. einem elastischen Schaumstoff oder dergleichen, ausgestattet sein, der die Verformung

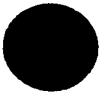
25 der Anschlussarme nicht behindert und zusätzlich auch Verkleidungs-, Stütz- oder Aussteifungsfunktionen übernehmen kann. Bei den obigen Ausführungsformen kann zudem auch der Rotorblatthals torsionsweich und/oder biegeweich ausgestaltet werden. Erfindungsgemäß sind auch Mischformen aus den erläuterten Ausführungsformen denkbar.

30 Es sei nochmals ausdrücklich angemerkt, dass die obigen Zeichnungen rein schematisch sind und die gezeigte Bauteile und insbesondere die Abwinkelungen oder Abstufungen der Rotorblatt-Anschlussarme in der Praxis ergo nicht so eckig

und kantig wie in den Figuren dargestellt ausgestaltet sein müssen, sondern in der Regel entsprechend weichere, werkstoffgerechte Übergänge und Bauteilverläufe besitzen.

- 5 Bezugszeichen in den Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen dienen lediglich dem besseren Verständnis der Erfindung und sollen den Schutzmfang nicht einschränken.

10



### Bezugszeichenliste

Es bezeichnen:

5	2	Rotorblatt
	4	Rotorblattanschluss
	6	Rotorblatt-Anschlussarm
	6a	Abgestufter oder abgewinkelter Armabschnitt
	8	Rotorblatt-Anschlussarm
10	8a	Abgestufter oder abgewinkelter Armabschnitt
	10	Fußbereich
	12	Rotorblatthals
	14a	Abgestufter oder abgewinkelter Armabschnitt
15	dS1	Durchsenkung
	sD2	Anhebung
	h1	Hebelarm / Abstand
	h2	Hebelarm / Abstand
	F1	Kraft
20	F2	Kraft
	Fc	Fliehkraft / Fliehkraftrichtung
	M1	Biegemoment
	M2	Biegemoment
	L1	Lagerstelle
25	L2	Lagerstelle
	PB6	Rotorblattseitiger Anschlusspunkt von 6
	PB8	Rotorblattseitiger Anschlusspunkt von 8
	PH6	Rotorkopfseitiger Anschlusspunkt von 6
	PH8	Rotorkopfseitiger Anschlusspunkt von 8
30	T	Trennstelle
	W	Blattwinkel
	X1	Abwinkelungsachse
	X2	Abwinkelungsachse

### Patentansprüche

1. Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfassend: einen Rotorkopf, mindestens ein Rotorblatt (2) und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss (4) mit einer integralen, lagerlosen, fliehkraftgesteuerten Blattwinkelverstelleinrichtung (6, 8; 14).

2. Rotor nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung mindestens einen im Rotorbetrieb fliehkraftbeaufschlagten Rotorblatt-Anschlussarm (6; 8; 14) besitzt, der mindestens einen abgestuften oder abgewinkelten Armabschnitt (6a; 8a; 14a) aufweist, welcher zwischen einem rotorkopfseitige Anschlusspunkt des Rotorblatt-Anschlussarms (6; 8; 14) und

- einem Vektor einer auf das Rotorblatt (2) wirkend Fliehkraft ( $F_c$ ), oder
- einem Vektor eines auf den mindestens einen Rotorblatt-Anschlussarm (6; 8; 14) wirkenden Fliehkraftanteils ( $F_{c1}, F_{c2}$ )

mindestens einen Hebelarm ( $h_1, h_2$ ) bildet, mit dem der Rotorblatt-Anschlussarm (14) und das Rotorblatt (2) unter Einwirkung der Fliehkraft ( $F_c$ ) verdrehbar sind.

3. Rotor nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die integrale, lagerlose, fliehkraftgesteuerte Blattwinkelverstelleinrichtung mindestens zwei im Rotorbetrieb fliehkraftbeaufschlagte Rotorblatt-Anschlussarme (6, 8) besitzt, die ausgehend von einem gemeinsamen Fußbereich (10), der in einen Rotorblatthals (12) mündet, in einem Abstand zueinander verlaufen und von denen mindestens einer (6; 6, 8) einen Armabschnitt (6a; 6a, 8a) besitzt, der gegenüber dem anderen Rotorblatt-Anschlussarm (8; 6, 8) abgestuft oder abgewinkelt ist.

4. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die mindestens zwei Rotorblatt-Anschlussarme (6, 8) gegensinnig abgestufte  
oder abgewinkelte Armabschnitte (6a, 8a) besitzen.
5. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die mindestens zwei Rotorblatt-Anschlussarme (6, 8) bezogen auf den  
Rotorkreis in tangentialer Richtung seitlich voneinander beabstandet  
nebeneinander verlaufen und ihre Armabschnitte (6a, 8a) bezogen auf die  
Rotorachse (A) in axialer Richtung gegeneinander versetzt sind.
6. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die mindestens zwei Rotorblatt-Anschlussarme (6, 8) bezogen auf die  
Rotorachse (A) übereinander angeordnet sind und in einem Abstand  
zueinander verlaufen und ihre Armabschnitte (6a, 8a) im Wesentlichen in  
einer zur Rotorkreisebene parallelen Ebene oder in einem spitzen Winkel  
dazu gegensinnig nach links und rechts abgestuft oder abgewinkelt sind.
7. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
von jedem Rotorblatt-Anschlussarm (6, 8; 14) der Flächenschwerpunkt oder  
die neutrale Faser eines rotorkopfseitigen Anschlussarmquerschnitts  
gegenüber dem Flächenschwerpunkt oder der neutralen Faser eines  
rotorblattseitigen Anschlussarmquerschnitts und einer im Betrieb des Rotors  
durch diesen rotorblattseitigen Flächenschwerpunkt verlaufenden  
Fliehkraftrichtung ( $F_c$ ) versetzt ist.

8. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die mindestens zwei Rotorblatt-Anschlussarme (6, 8) rotorkopfseitige  
Anschlusspunkte (PH6, PH8) besitzen, die in Axialrichtung (A) des Rotors  
voneinander beabstandet sind.
9. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der mindestens eine Rotorblatt-Anschlussarm (6, 8; 14) und/oder der  
Fußbereich (10) und/oder der Rotorblatthals (12) torsionsweich ausgestaltet  
sind.
10. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der mindestens eine Rotorblatt-Anschlussarm (6, 8; 14) integraler Bestandteil  
des Rotorblattes ist.
11. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der mindestens eine Rotorblatt-Anschlussarm (6, 8; 14) integraler Bestandteil  
eines Rotorkopfelementes ist, an dem das mindestens eine Rotorblatt (2)  
anschließbar ist.
12. Rotor nach einem oder mehreren der vorher genannten Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Fußbereich (10) schwenksteif und schlagweich ausgebildet ist.
13. Drehflügelflugzeug, insbesondere ein Hubschrauber, insbesondere ein  
Kipprotorhubschrauber, umfassend mindestens einen Rotor nach einem oder  
mehreren der Ansprüche 1 bis 11.

14. Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotorblattes (2) eines Rotors, insbesondere eines lagerlosen Rotors, der einen Rotorkopf und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss (4; 6, 8; 14) besitzt, umfassend folgende Schritte:

5        - Rotieren des Rotorblattes (2), und  
          - automatisches Verstellen des Blattwinkels (W) durch Verdrehen des rotorkopfseitigen Rotorblattanschlusses (4; 6, 8; 14) und damit des Rotorblattes (2) um seine Längsachse mittels auf das Rotorblatt (2) wirkender Fliehkräfte (Fc).

10

15. Verfahren nach Anspruch 14,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Verdrehen des rotorkopfseitigen Rotorblattanschlusses durch reversibles elastisches Verformen von mindestens einem Rotorblatt-Anschlussarm (6, 8; 14) mittels der auf das Rotorblatt (2) wirkenden Fliehkräfte (Fc) erfolgt.

15

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

20        das reversible elastische Verformen des mindestens einen Rotorblatt-Anschlussarms (6, 8; 14) durch Erzeugen von mindestens einem Biegemoment (M1, M2) in diesem Rotorblatt-Anschlussarm (6, 8; 14) mittels der auf das Rotorblatt (2) wirkenden Fliehkräfte (Fc) erfolgt, wobei das Biegemoment (M1, M2) ein Drehmoment (F1-F2) um die Rotorblattlängsachse induziert.

25

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

30        das Verdrehen durch gegensinniges, reversibles elastisches Verformen von mindestens zwei gleich- oder gegensinnig abgestuften oder abgewinkelten Rotorblatt-Anschlussarmen (6, 8) mittels der auf das Rotorblatt (2) wirkenden Fliehkräfte (Fc) erfolgt.

18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 17,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

das reversible elastische Verformen der mindestens zwei gleich- oder  
5 gegensinnig abgestuften oder abgewinkelten Rotorblatt-Anschlussarme (6, 8)  
durch Erzeugen von zwei gleich- oder gegensinnigen Biegemomenten (M1.  
M2) in den beiden Rotorblatt-Anschlussarmen (6, 8) mittels der auf das  
Rotorblatt (2) wirkenden Fliehkräfte (Fc) erfolgt.

wobei die gleich- oder gegensinnigen Biegemomente (M1, M2) ein  
10 Drehmoment um die Rotorblatlängsachse induzieren.

### Zusammenfassung

Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfassend: einen Rotorkopf,  
5 mindestens ein Rotorblatt (2) und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss (4; 6,  
8) mit einer integralen, lagerlosen, fliehkraftgesteuerten  
Blattwinkelverstelleinrichtung (6, 8). Drehflügelflugzeug, insbesondere ein  
Hubschrauber, insbesondere ein Kipprotorhubschrauber, umfassend mindestens  
einen solchen Rotor. Verfahren zur Blattwinkelverstellung eines Rotorblattes (2)  
10 eines Rotors, insbesondere eines lagerlosen Rotors, der einen Rotorkopf und einen  
rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss besitzt, umfassend folgende Schritte: Rotieren  
des Rotorblattes (2); und automatisches Verstellen des Blattwinkels (W) durch  
Verdrehen des rotorkopfseitigen Rotorblattanschlusses (4; 6, 8) und damit des  
Rotorblattes (2) um seine Längsachse mittels auf das Rotorblatt (2) wirkender  
15 Fliehkräfte (Fc).

(Fig. 1)

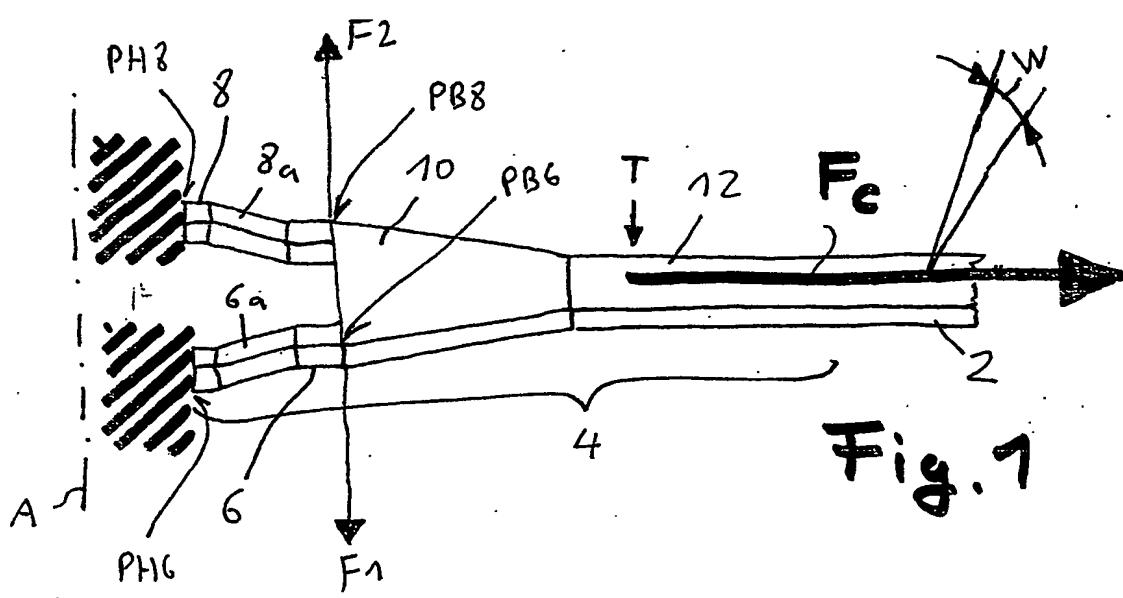


Fig. 1

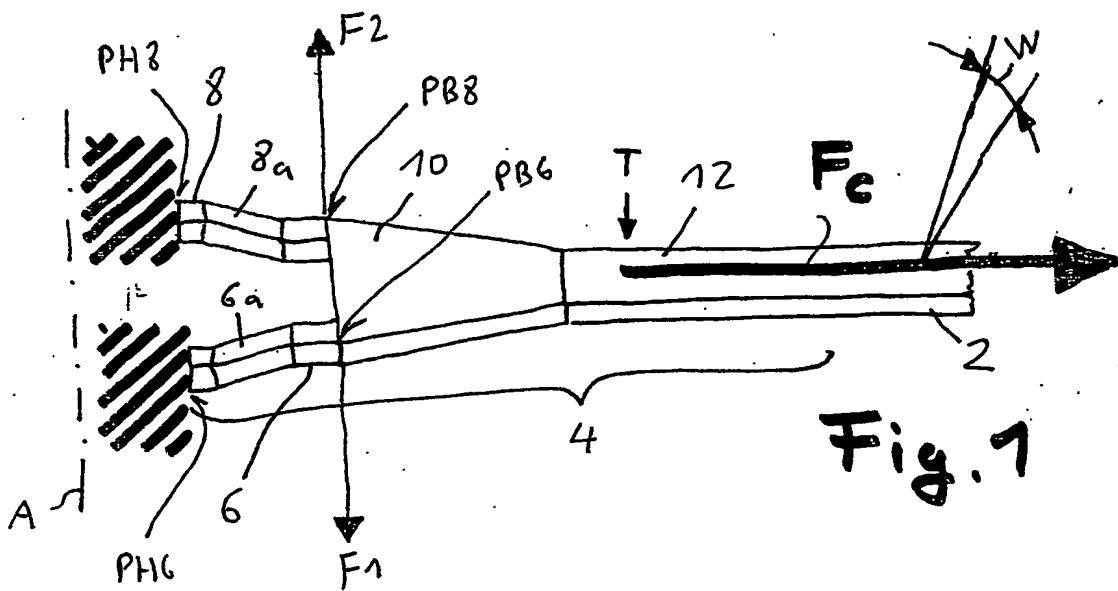


Fig. 1

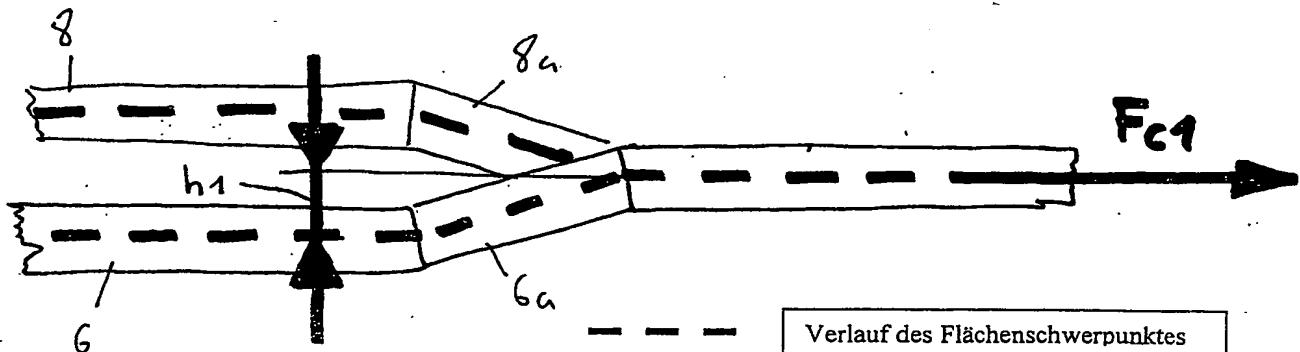


Fig. 2

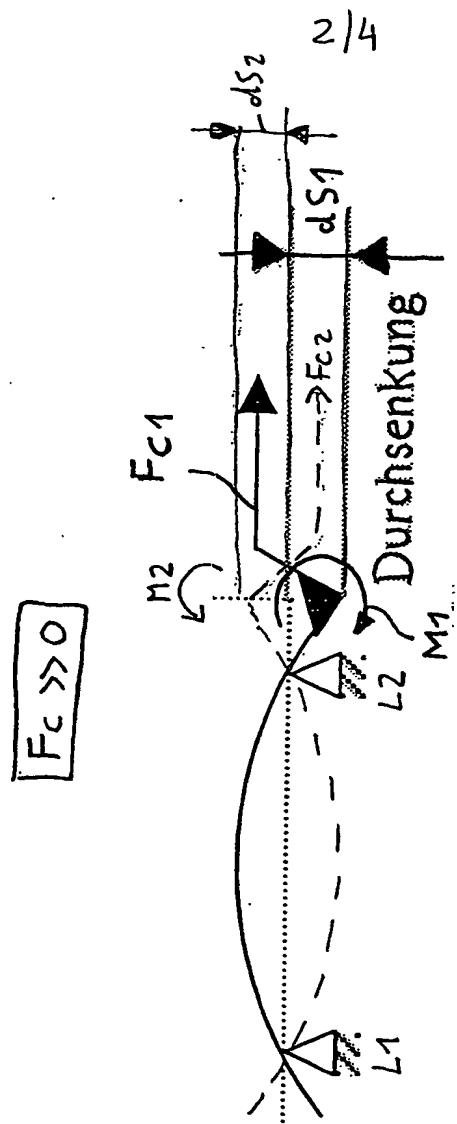


Fig. 4

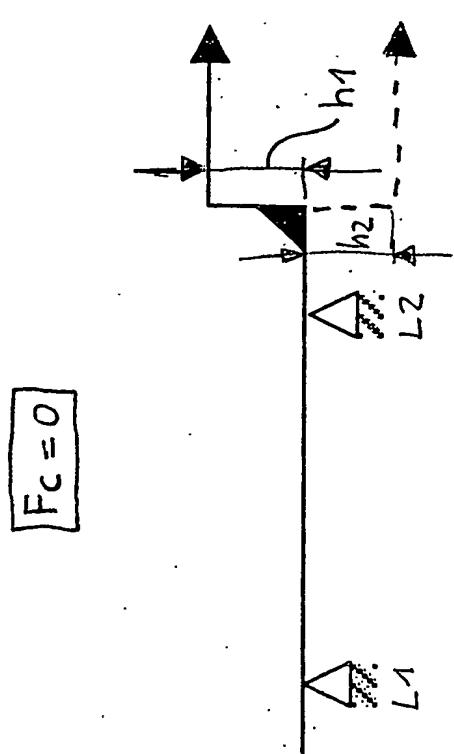


Fig. 3

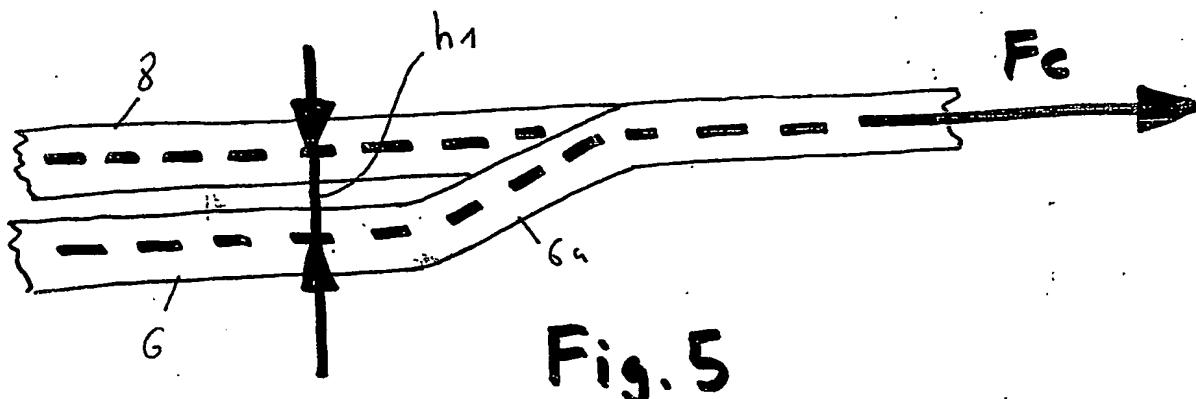


Fig. 5

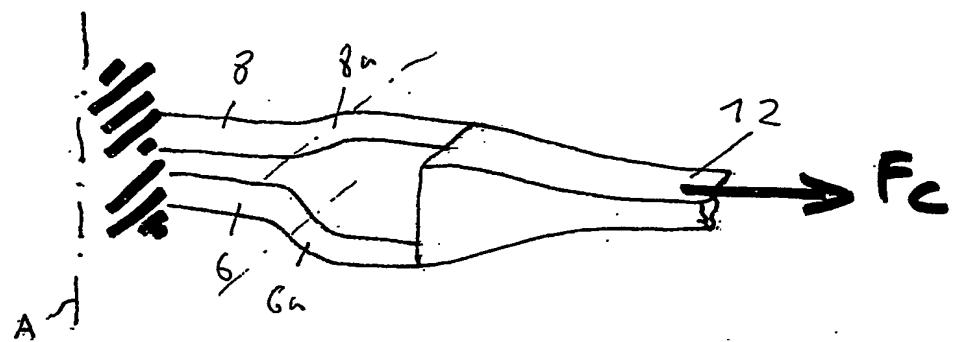


Fig. 6

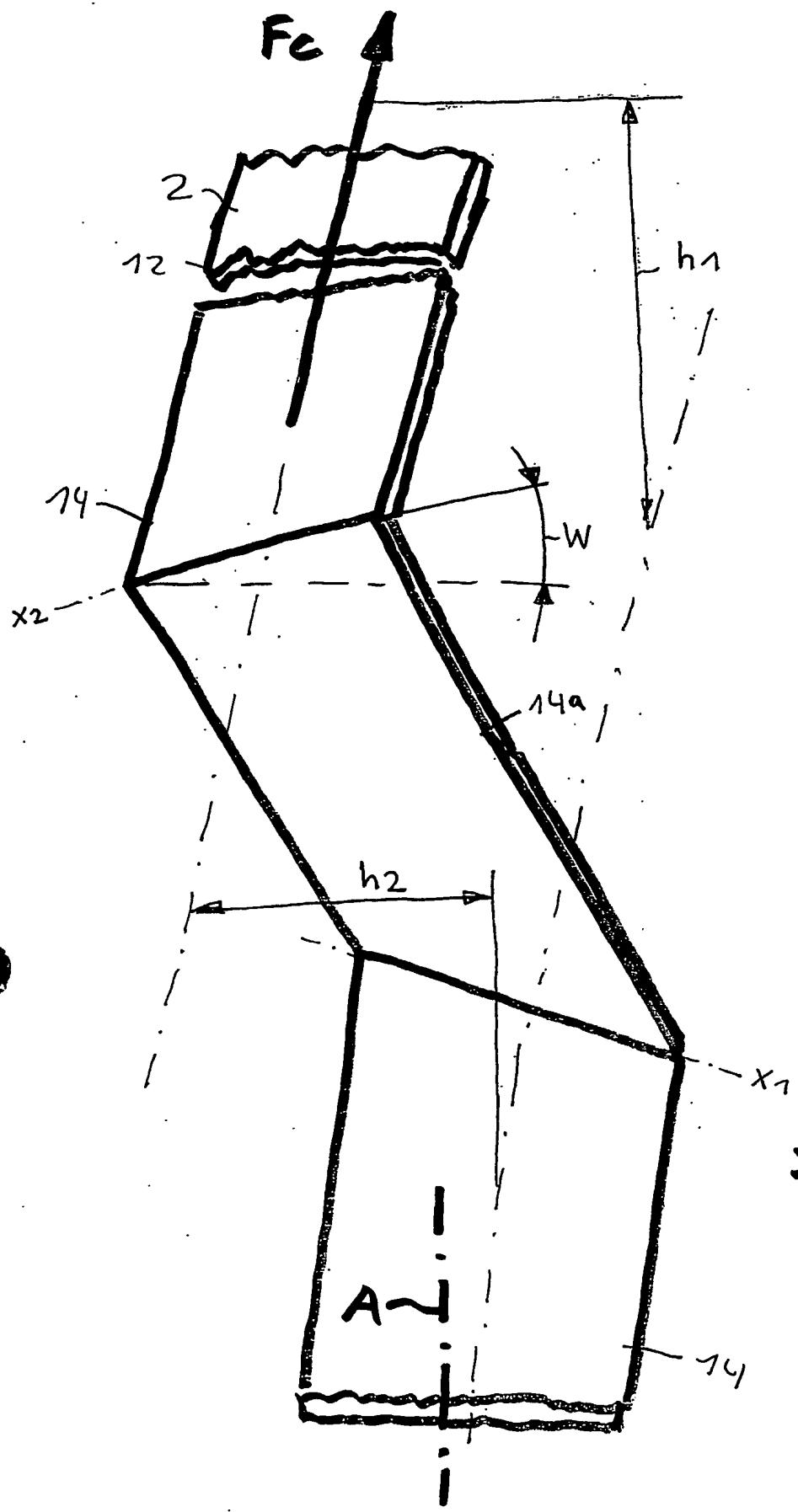


Fig. 7